毛鱼藤酮与鱼藤酮杀虫活性的比较

曾鑫年，张善学*，方剑锋，韩建勇
（华南农业大学昆虫毒理室，广州　510642）

摘要：毛鱼藤酮是从杀虫植物毛鱼藤根中分离的杀虫活性物质。以菜粉蝶、甘蓝蚜、柑桔全爪螨、小菜蛾和黄曲条跳甲为试虫比较测定了毛鱼藤酮与鱼藤酮的毒杀、拒食、生长发育干扰和忌避产卵活性。结果表明：毛鱼藤酮的杀虫活性依昆虫种类而异，对柑桔全爪螨、小菜蛾、黄曲条跳甲的活性与鱼藤酮相当，其 LC_{50} 没有显著差异，而对甘蓝蚜和菜粉蝶的活性显著低于鱼藤酮。毛鱼藤酮和鱼藤酮对昆虫均具拒食活性，但前者比后者弱。毛鱼藤酮还与鱼藤酮一样对昆虫有一定的生长发育干扰和忌避产卵作用。NADH-泛醌氧化还原酶抑制活性测定结果显示，毛鱼藤酮的抑制活性低于鱼藤酮，二者抑制中浓度（IC_{50}）分别为 5.27 nmol·mL^{-1} 和 2.58 nmol·mL^{-1}。根据拒食、受药途径和酶抑制的试验结果分析认为，毛鱼藤酮在浸叶处理时对某些昆虫有较高杀虫活性是由于其比鱼藤酮有较低的拒食活性，导致虫体摄入药剂量增加所致。

关键词：植物杀虫剂；生物活性；NADH-泛醌氧化还原酶抑制剂
中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2002）05-0611-06

Comparison of the bioactivity of elliptone and rotenone against several agricultural insect pests

ZENG Xin-Nian，ZHANG Shan-Xue*，FANG Jian-Feng，HAN Jian-Yong（Laboratory of Insect Toxicology，South China Agricultural University，Guangzhou　510642，China）

Abstract: One of the most efficient ways to obtain compounds with insecticide properties from traditional insecticidal plants is the extraction and isolation of minor secondary metabolites. Elliptone，isolated from the roots of *Derris elliptica*，is an active insecticide in the same chemical family as rotenone. Differences in toxicity，antifeedancy，inhibition of growth and development，and oviposition deterrence between elliptone and rotenone were evaluated with respect to imported cabbage worm（*Pieris rapae*），diamondback moth（*Plutella xylostella*），cabbage aphid（*Brevicoryne brassicae*），striped flea beetle（*Phyllotreta vittata*），and citrus red mite（*Panonychus citri*）. The results showed that the toxicity of elliptone varied between species. Elliptone exhibited strong toxicity against citrus red mite，diamondback moth larvae，and adults of the striped flea beetle，but significantly lower toxicity against cabbage aphid and imported cabbage worm compared to rotenone（based on comparison of LC_{50}）. Both elliptone and roteone displayed remarkable antifeedant activity. Elliptone，and to a lesser extent，rotenone，had some inhibitory effect on growth and development and deterred oviposition. Elliptone had a lesser inhibitory effect on NADH-ubiquinone oxidoreductase activity（50% inhibition [IC_{50}] at 5.27 nmol·$mL^{\ 1}$）compared to rotenone（IC_{50} at 2.58 nmol·$mL^{\ 1}$）which suggests that is a less effective respiratory inhibitor than the latter. Based on the data obtained in this investigation，it is possible that the higher toxicity of elliptone in leaf-disc immersion trials reflects its lower antifeedant activity and consequently higher ingestion rate.

Key words: botanical insecticides; bioactivity; NADH-ubiquinone oxidoreductase inhibition

化学合成杀虫剂的大量广泛使用带来了严重的害虫抗药性、再猖獗和残留问题，农业的可持续发展和环境保护要求研究开发高效、安全、低毒、低抗性的新型农药。从植物中分离提取对昆虫有活性的物质，特别是昆虫忌避剂、拒食剂和生长发育抑制剂的试验研究受到广泛重视（曾鑫年，1995；赵

基金项目：国家自然科学基金项目（20072006），西班牙教育部外国学者基金项目（SB1999-14509847）和西班牙国际合作署项目（2002CN0001）
第一作者简介：曾鑫年，男，1960 年 12 月生，博士，副教授，从事农业昆虫和昆虫毒理学研究，E-mail：zengxn@scau.edu.cn
＊通讯作者 Author for correspondence
收稿日期 Received：2002-05-27；接受日期 Accepted：2002-09-12

善欢，1993）。近二十多年来，从植物中寻找昆虫活性化合物的研究主要集中在发现新的具昆虫活性的植物种类及其化学和毒理学研究，并已取得重要进展，开发出了一些商品制剂（郝斌等，1999；徐汉虹等，2001）。

然而，有三方面的原因促使我们对传统杀虫植物（鱼藤、烟草、除虫菊）中的次生化合物进行深入研究，以期发现更高效的昆虫活性成分。第一，传统杀虫植物是生产实践中已得到证明的高效杀虫植物，虽然其活性成分一般已被明确，但多是含量在1%以上的化合物，而由于受技术条件的限制对含量低、活性更高的潜在次生化合物尚值得深入研究；第二，传统杀虫植物中的活性化合物主要是以毒杀活性为标准得到分离鉴定的，而对其拒食、忌避、生长发育抑制等作用方式等研究较少；第三，植物是化学的宝库，其次生化合物的多样性有助于结构与活性关系的研究。

传统高效杀虫植物鱼藤的主要活性成分是鱼藤酮（rotenone），其含量可达植物干重的 7% 以上，但迄今已发现的鱼藤酮类化合物在 74 种以上（Dewick，1994；Fang *et al.*，1997；徐汉虹等，2001），且其对昆虫活性没有详细的研究。毛鱼藤酮（elliptone）是六十年前从鱼藤属植物毛鱼藤 *Derris elliptica* 中分离得到的鱼藤酮类化合物，它与鱼藤酮、鱼藤素在分子结构上处于同一氧化水平（Dewick，1994）。由于早期以蚜虫进行生物活性测定，发现其杀虫活性远低于鱼藤酮，其研究一直被忽视（Martin，1942）。曾鑫年等（2001，2002）采用新改进方法对毛鱼藤根中的鱼藤酮类化合物进行研究，并用敏感试虫进行生物活性测定，发现毛鱼藤酮是其主要的鱼藤酮类化合物之一，且有较高的生物活性。为了明确该植物次生物的杀虫活性及其与鱼藤酮活性差异的机制，有必要对二者进行活性比较研究，以为该类植物次生物的研究开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试药剂与仪器

鱼藤酮原粉，美国 Sigma 公司产品，批号为 69F0953，含量 95% ~ 98%，MW = 394.4。毛鱼藤酮原粉，本室按照曾鑫年等（2002）方法从毛鱼藤根中提取获得，含量≥95%，MW = 352.3。牛心线粒体电子传递体，参照 Crane 等（1956）方法用新鲜牛心提取获得，其酶原蛋白的含量为 424.14 $\mu g \cdot mL^{-1}$。还原型辅酶Ⅰ（NADH），上海 Amresco 公司产品，批号为 0668A39，含量 > 92%，MW = 763.0。

Cintra 紫外-可见光光度计，澳大利亚 GBC 公司制造；Le-80K 冷冻超高速离心机，英国 Backman 公司；LI-3000 型叶面积测定仪，美国 Lincoin 公司；昆虫微量点滴仪，中国科学院上海昆虫研究所；波特喷雾塔，英国 Barkard 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 生物活性测定：菜粉蝶 *Pieris rapae*、柑桔全爪螨 *Panonychus citri*、甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*、黄曲条跳甲 *Phyllotreta rectilineata* 采自华南农业大学试验农场的菜地或果园，挑选健康、龄期一致的虫体供试。小菜蛾 *Plutella xylostella* 为华南农业大学昆虫毒理研究室人工饲养种群。试虫处理前后均放于温度 25 ± 2℃、相对湿度 75% ~ 90% 和光照 12:12（L:D）的培养室内。

（1）点滴法：用于测定药剂对菜粉蝶幼虫的毒力。供试药样用丙酮稀释，用微量点滴仪将稀释液点滴于试虫的前胸背板，对照组点滴丙酮。5 龄幼虫每头点滴 3 μL 药液。每个处理重复 3 次，每重复 10 头试虫。处理后的试虫用新鲜甘蓝叶片饲喂，观察其中毒死亡情况。

（2）玻片浸渍法：用于测定药剂对柑桔全爪螨的毒力。用毛笔把柑桔全爪螨成螨背部粘在贴有透明胶的玻片上，保湿放置 4 h，镜检后除去已死亡的试虫，重新补上活泼的试虫，然后在药液中浸 1 s，用滤纸吸掉玻片上多余的药液，保湿静置，在观察时间内调查各处理的死亡率。

（3）浸叶法：将药剂配成所需浓度，把直径 1 cm 的甘蓝叶碟在药液中浸泡 3 s，然后在滤纸上晾干，放入直径 9 cm 的培养皿中，接入饥饿 4 h 后的试虫，并滴入清水保湿。在观察时间内调查各处理的中毒死亡、取食量、生长发育等情况。

（4）波特喷雾法：在直径 9 cm 的培养皿中（内垫滤纸，滴加适量蒸馏水保湿）放入略小于培养皿的叶片一张，接入试虫，置波特喷雾塔中喷雾处理。每皿的叶片正反面各喷药液 1 mL，设清水为对照。

（5）拒食活性试验方法：在直径 9 cm 的培养皿中（内垫滤纸，滴加适量蒸馏水保湿）摆放 6 片处理叶蝶，每皿放入饥饿 4 h 的菜粉蝶 4 龄幼虫 1 头，令其自由取食。24 h 或 48 h 后，用叶面积测定仪测定所剩余叶面积，计算拒食率。每皿为 1 个处

理，每处理重复10次。

拒食率（%）=（对照组取食叶面积-处理组取食叶面积）/对照组取食叶面积×100。

（6）产卵忌避试验方法：用于测定药剂对小菜蛾成虫忌避产卵活性。将小油菜 *Brassica chinensis* 种子播在小塑料杯（直径7 cm，高10 cm）中，待长至3~4叶期后，每一杯留整齐一致的菜苗10株，其余的用剪刀清除。用手压喷雾器均匀喷洒药液处理，并设清水对照。把处理后的菜苗放入50 cm×50 cm×40 cm的纱笼中，接入100对刚孵化的小菜蛾，并用10%蜂蜜喂养。每处理10杯菜苗，药后一定时间调查菜苗上的落卵量，计算产卵忌避率。

产卵忌避率（%）=（对照组落卵数-处理组落卵数）/对照组落卵数×100。

1.2.2 NADH-泛醌氧化还原酶活性抑制试验：NADH-泛醌氧化还原酶活性抑制试验参照Wood等（1996）方法。在1.0 mL pH 7.4的磷酸（50 $mmol \cdot mL^{-1}$）-蔗糖（0.25 $mol \cdot mL^{-1}$）缓冲液中，加入抑制剂和酶，置25℃水浴中温育反应5 min，然后分别加入28 $\mu mol \cdot mL^{-1}$的NADH继续反应3 min，在340 nm波长下用紫外分光光度计检测各反应液的吸光度（OD值）。抑制剂设6个浓度，计算抑制中浓度（IC_{50}）。

2 结果与分析

2.1 毒杀活性的比较

鱼藤酮类化合物是著名的昆虫呼吸链毒剂，以往的研究也主要围绕其毒杀活性方面。以小菜蛾、菜粉蝶、黄曲条跳甲、甘蓝蚜和柑桔全爪螨为试虫测定毛鱼藤酮和鱼藤酮的毒杀活性，发现其杀虫毒力依试虫种类的不同有较大差异（表1）。从致死中浓度（LC_{50}）的95%置信限来看，毛鱼藤酮对柑桔全爪螨成螨、小菜蛾幼虫和黄曲条跳甲成虫的毒力与鱼藤酮的相当，二者的LC_{50}没有显著差异，而对菜粉蝶幼虫和甘蓝蚜的毒力则显著低于鱼藤酮。值得注意的是，浸叶法和波特喷雾法处理小菜蛾幼虫的结果显示，不同的受药途径可使二者的毒杀活性产生差异。浸叶法处理时，毛鱼藤酮的活性高于鱼藤酮，波特喷雾法处理时则以鱼藤酮的毒杀活性较高。

表1 毛鱼藤酮和鱼藤酮对5种农业昆虫的毒力

Table 1 Toxicity of elliptone and rotenone to five important agricultural insect pests

昆虫种类 Insect species	LC_{50}（$\mu g \cdot mL^{-1}$）（95%置信限 Fiducial limits）		测定方法 Test method
	毛鱼藤酮 Elliptone	鱼藤酮 Rotenone	
小菜蛾 *Plutella xylostella*	21.52（7.24~64.57）	69.29（50.12~95.50）	浸叶法 leaf disc immersion
	29.46（24.32~35.69）	22.80（18.94~27.46）	波特喷雾法 potter tower spray
黄曲条跳甲 *Phyllotreta vittata*	14.31（6.31~32.45）	21.39（12.56~36.44）	浸叶法 leaf disc immersion
柑桔全爪螨 *Panonychus citri*	0.133（0.123~0.145）	0.153（0.138~0.169）	玻片浸渍法 slide immersion
菜粉蝶 *Pieris rapae*	11.08（4.37~28.14）	1.23（0.45~3.39）	点滴法 topical application
甘蓝蚜 *Bravicoryne brassicae*	87.26（64.21~118.57）	7.44（3.72~14.88）	波特喷雾法 potter tower spray

为进一步明确受药途径对毛鱼藤酮和鱼藤酮毒杀活性的影响，以100 $\mu g \cdot mL^{-1}$药液浓度分别进行浸叶、点滴和点滴+浸叶处理，测定二者对菜粉蝶4龄幼虫的毒杀活性。结果发现，在浸叶处理后48 h毛鱼藤酮引起的死亡率显著高于鱼藤酮，而点滴处理则以鱼藤酮的活性显著高于毛鱼藤，点滴+浸叶处理也以鱼藤酮的活性较高，但二者间没有显著差异（表2）。观察中注意到，鱼藤酮浸叶处理导致幼虫取食量急剧下降，致使虫体摄入的药量下降，此时试虫对毛鱼藤酮的受药量高于鱼藤酮，这可能是浸叶处理时毛鱼藤酮显示出较高毒杀活性的原因。而在点滴处理时，试虫的受药量一致，鱼藤

酮显示出较高毒杀活性。

2.2　拒食活性和生长发育抑制活性的比较

毛鱼藤酮和鱼藤酮均具有拒食作用活性。以菜粉蝶 4 龄幼虫进行测定的结果表明，鱼藤酮对菜粉蝶幼虫的拒食活性高于毛鱼藤酮，其处理后 24 h 的拒食中浓度分别为 16.72 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 和 28.28 $\mu g \cdot mL^{-1}$，但二者之间在统计学上没有显著差异（表 3）。

表 2　不同处理方法下毛鱼藤酮和鱼藤酮对菜粉蝶 4 龄幼虫的毒杀活性

Table 2　Toxicity of elliptone and rotenone to the fourth instar larvae of *Pieris rapae* using different test methods

药剂 Test material	试虫数（头） Insects (head)	死亡率 Mortality（± *SE*，*n* = 5，%） 浸叶 Leaf disc immersion (LDI)	点滴 Topical application (TA)	点滴 + 浸叶 LDI + TA
毛鱼藤酮 elliptone	50	56.0 ± 5.1	74.0 ± 6.8	92 ± 3.7
鱼藤酮 rotenone	50	30.0 ± 7.1	90.0 ± 4.5	98.0 ± 2.0
t-检验（$t_{0.05}$ = 1.982，df = 98）		2.626	2.082	1.376

表 3　毛鱼藤酮和鱼藤酮对菜粉蝶幼虫的拒食活性

Table 3　Antifeedant activity of elliptone and rotenone on fourth instar larvae of *Pieris rapae*

药剂 Test material	直线回归方程 ($Y = a + bX$)	AFC_{50} ($\mu g \cdot mL^{-1}$)（95%置信限 Fiducial limits）	AFC_{95} ($\mu g \cdot mL^{-1}$)
毛鱼藤酮 elliptone	$Y = 1.45 + 2.45X$	28.28（9.05 ~ 88.0）	133.06
鱼藤酮 roteone	$Y = 2.40 + 2.13X$	16.72（6.97 ~ 40.0）	99.29

用浸叶饲喂法处理菜粉蝶 5 龄初幼虫发现，随着浓度的升高，毛鱼藤酮和鱼藤酮均能引起幼虫的取食量显著下降，同时蛹重也受到影响（图 1）。随着处理浓度的升高，毛鱼藤酮和鱼藤酮处理均能使菜粉蝶蛹重降低，两者对菜粉蝶蛹重的影响差异显著。以低于 25 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 的浓度处理时，毛鱼藤酮和鱼藤酮均影响菜粉蝶幼虫的生长，其蛹重显著低于对照组蛹重，但毛鱼藤酮和鱼藤酮之间没有显著差异。以 50 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 的浓度处理时，鱼藤酮对菜粉蝶幼虫生长的影响显著高于毛鱼藤酮，鱼藤酮、毛鱼藤酮和对照三者的菜粉蝶蛹重分别为 76 mg、150 mg 和 199.6 mg。

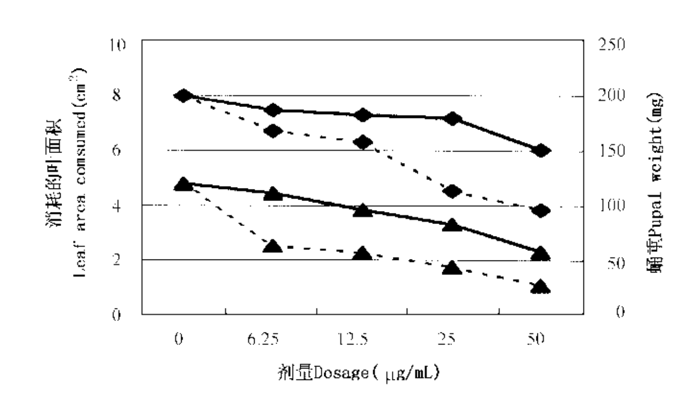


图 1　毛鱼藤酮（实线）和鱼藤酮（虚线）对菜粉蝶 5 龄幼虫取食（三角形）和生长（棱形）的影响

Fig. 1　Effects of elliptone (solid line) and rotenone (dot line) on feeding (triangle) and growth (rhombus) of fifth instar larvae of *Pieris rapae*

以点滴法处理菜粉蝶 5 龄初幼虫发现，处理后 96 h，1 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 浓度的毛鱼藤酮和鱼藤酮可引起菜粉蝶化蛹不正常，畸蛹率分别为 20.0% 和 60.0%；而 16 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 浓度下，畸蛹率则分别高达 60.0% 和 73.3%。从而可以看出，毛鱼藤酮和鱼藤酮除了能通过抑制昆虫取食来影响生长发育以外，还对生长

发育有直接影响。

2.3 成虫产卵忌避活性的比较

毛鱼藤酮和鱼藤酮对小菜蛾成虫产卵具有一定的忌避活性（表 4）。在 3 个处理浓度下，毛鱼藤酮对小菜蛾成虫的 48 h 忌避产卵率要比鱼藤酮的低，但二者间不存在显著差异。用 125 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 浓度处理时两药剂的忌避产卵率分别为 20.83% 和 33.33%，而在 500 $\mu g \cdot mL^{-1}$ 的较高浓度时，毛鱼藤酮和鱼藤酮的忌避产卵率也仅分别达 70.83% 和 75.0%。

表 4 毛鱼藤酮和鱼藤酮对小菜蛾成虫产卵的忌避活性

Table 4 Deterrent effect of elliptone and rotenone on diamondback moth oviposition

浓度 Dosage ($\mu g \cdot mL^{-1}$)	产卵忌避率 Oviposition deterrence（%）（± *SE*，*n* = 10）	
	毛鱼藤酮 Elliptone	鱼藤酮 Rotenone
500	70.83 ± 11.02	75.0 ± 7.22
250	66.67 ± 15.02	70.83 ± 11.02
125	20.83 ± 4.17	33.33 ± 8.33

注：对照组平均落卵量为 23.60 ± 0.98 粒

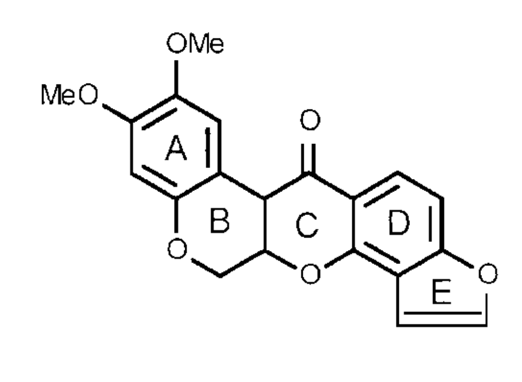
Note: The average number of eggs laid in the control was 23.60 ± 0.98 eggs

2.4 分子结构与 NADH-泛醌氧化还原酶抑制活性的比较

毛鱼藤酮与鱼藤酮在分子结构上的差异主要出现在 E 环上，毛鱼藤酮没有侧链，而鱼藤酮在 5′ 碳位上有一个异丙烯侧链，使该碳具有不对称性（图 2）。研究表明，鱼藤酮类化合物的氧化还原势能的高低主要体现在分子结构中 6a 和 12a 碳位上氧化水平所决定。从这一意义上说，毛鱼藤酮和鱼藤酮处于同一氧化水平，体现它们在生物活性上可能相近。当然，分子的立体结构对生物活性的产生也有作用。

早期的研究表明，鱼藤酮是生物细胞线粒体呼吸链中 NADH 到泛醌氧化还原酶的高效抑制剂，这也是该类化合物杀虫活性的主要机制。用新鲜牛心制备电子传递体进行的实验结果表明，毛鱼藤酮和鱼藤酮一样对电子传递体中 NADH 氧化还原酶具有抑制作用。毛鱼藤酮的抑制中浓度（IC_{50}）为 5.27 $nmol \cdot mL^{-1}$，低于鱼藤酮的抑制中浓度（2.58 $nmol \cdot mL^{-1}$）。这说明毛鱼藤酮对该种酶的抑制能力要比鱼藤酮的弱，这一结果也和生物活性测定中点滴处理的结果相一致。

鱼藤酮
rotenone



毛鱼藤酮
elliptone

图 2 毛鱼藤酮和鱼藤酮的分子结构

Fig. 2 Molecular structure of elliptone and rotenone

3 讨论

从传统高效杀虫植物中分离提取次要次生化合物是快速发现新的高效杀虫活性成份的途径之一。通过与鱼藤酮生物活性的比较研究，作者发现毛鱼藤酮有很高的杀虫活性，而且其杀虫活性依昆虫种类和处理方法而异，它对柑桔全爪螨、小菜蛾、黄曲条跳甲有较高或与鱼藤酮相当的活性，而对甘蓝蚜和菜粉蝶的活性较差。同时，试验证明，毛鱼藤酮和鱼藤酮对昆虫均有拒食活性，且前者比后者弱。毛鱼藤酮还与鱼藤酮一样对昆虫有一定的生长发育干扰作用，这和前人对鱼藤酮的研究结果相一致（徐汉虹等，2001）。

Fang 等（1999）测定了 29 种鱼藤酮类化合物的 NADH-泛醌氧化还原酶抑制活性，发现鱼藤素和鱼藤酮的酶抑制活性相当，但这 2 种化合物对昆虫的毒力有很大差异。这说明鱼藤酮类化合物对昆

虫的生物活性除了呼吸酶抑制活性外还受到其它因素的影响。本研究发现，毛鱼藤酮的 NADH-泛醌氧化还原酶抑制活性低于鱼藤酮，说明单从毒杀活性来看，毛鱼藤酮不如鱼藤酮好，这也从点滴处理的生物活性测定结果得到证实。但是，由于毛鱼藤酮有较低的拒食活性，当处理食物以后，试虫通过取食摄入的药剂量相对增加，从而使其产生较高的杀虫活性。除了酶抑制能力外，毛鱼藤酮与鱼藤酮生物活性的种间差异可能是药物在体壁穿透及到靶标部位间的生理生化差异所引起，值得进一步研究。

鱼藤酮杀虫制剂在我国果树蔬菜生产中已有大量使用，其原药系从鱼藤植物中直接提取获得，含有多种鱼藤酮类化合物。毛鱼藤酮是其中含量较高、生物活性明显的化合物，它对鱼藤酮制剂杀虫活性的贡献不容忽视。虽然毛鱼藤酮已能从鱼藤酮化学转化而获得，但其单独作为杀虫剂使用，在没有全新的、经济有效的化学合成成功之前似乎还不现实。

致谢 本研究中所用毛鱼藤酮样品承西班牙巴塞罗那化学与环境研究所 Josep Coll 教授进行 NMR 定性分析，中国科学院院士庞雄飞教授对文稿提出了宝贵意见，特致谢忱！

参 考 文 献 （References）

Crane F L，Glenn J L，Green D E，1956. Studies on the electron transfer system Ⅳ. The electron transfer particle. *Biochim. Biophys. Acta*，**22**（3）：475 – 487.

Dewick P M，1994. Isoflavonoids. In：Harborne J B ed. The Flavonoids：Advances in Research since 1986. London：Chapman and Hall Ltd. 125 – 209.

Fang N B，Casida J E，1997. Novel bioactive cube insecticide constituents：isolation and preparation of 13-homo-13-oxa-6a，12a-dehydrorotenoids. *J. Org. Chem.*，**62**（2）：350 – 353.

Fang N B，Casida J E，1999. Cube resin insecticide：identification and biological activity of 29 rotenoid constituents. *J. Agric. Food Chem.*，**47**（5）：2 130 – 2 136.

Hao B，Ge Q Y，1999. Investigation and application of botanical insecticides in China. *Bulletin of Botany*，16（5）：495 – 503.［郝斌，戈巧英，1999. 中国植物源杀虫剂的研制与应用. 植物学通报，16（5）：495 – 503］

Martin J T，1942. The problem of the evaluation of rotenone-containing plants. Ⅵ. The toxicity of *l*-elliptone and of poisons applied jointly，with further observation on the rotenone equivalent method of assessing the toxicity of *Derris* root. *Ann. Appl. Biol.*，**29**（6）：69 – 81.

Wood E，Latli B，Casida J E，1996. Fenazaquin acaricide specific binding sites in NADH：ubiquinone oxidoreductase and apparently the ATP synthase stalk. *Pesticide Biochemistry and Physiology*，**54**（2）：135 – 145.

Xu H H，Huang J G，2001. Advances in the research of rotenone. *Journal of Southwest Agricultural University*，23（2）：140 – 143.［徐汉虹，黄继光，2001. 鱼藤酮的研究进展. 西南农业大学学报，23（2）：140 – 143］

Zeng X N，1995. Botanical insecticides and antifeedants：new sources and prospects. *Nongyao Yicong*，17（3）：21 – 24，14.［曾鑫年，1995. 植物杀虫剂和拒食剂：来源与展望. 农药译丛，17（3）：21 – 24，14］

Zeng X N，Coll J，Zhang S X，Liu X Q，Camps F，2001. Rotenoids from roots of an insecticidal plant *Derris elliptica*. In：Li D M ed. Insect and Environment. Beijing：China Agricultural Scientech Press. 77 – 81.［曾鑫年，Coll J，张善学，刘新清，Camps F，2001. 杀虫植物毛鱼藤中鱼藤酮类化合物的研究. 见：李典谟主编. 昆虫与环境. 北京：中国农业科技出版社. 77 – 81］

Zeng X N，Coll J，Zhang S X，Liu X Q，Camps F，2002. Modification of the analytical method for rotenoids in plants. *Chinese Journal of Chromatography*，20（2）：144 – 147.［曾鑫年，Coll J，张善学，刘新清，Camps F，2002. 植物中鱼藤酮类化合物检测方法的改进. 色谱，20（2）：144 – 147］

Zhao S H，1993. Prospects for insecticides and chemical control of pest insects of agricultural importance. *Journal of Northwest Agricultural University*，21（3）：73 – 81.［赵善欢，1993. 杀虫剂及农业害虫化学防治展望. 西北农业大学学报，21（3）：73 – 81］